

Division of Organic Solar Cells

有機薄膜太陽電池部門

□専任 當摩 哲也 准教授

□兼任教員 高橋 光信 教授

前田 勝浩 准教授

桑原 貴之 助教

□協力教員 加納 重義 教授

山口 孝浩 准教授

生越 友樹 准教授

井改 知幸 助教

異分野連携による革新的 有機薄膜太陽電池の開発



火力や原子力に代わる無尽蔵でクリーンな太陽エネルギーの利用促進は、世界的な喫緊のテーマです。いま、有機薄膜太陽電池は、フレキシブル性や低コストなどさまざまな利点を有することから、ポスト・シリコン系太陽電池の一つとして期待を集めています。サステナブルエネルギー研究センターの有機薄膜太陽電池部門では、高橋光信教授率いる研究グループが、世界的水準の耐久性を示す素子を開発。次なる性能向上と実用化に向けて動いています。

「有機太陽電池とは」

有機太陽電池は、電子のドナーであるp型有機半導体と電子のアクセプターであるn型有機半導体とを接合した発電層を、仕事関数の異なる金属電極で挟んだ構造をしています。p

型有機半導体が太陽光を吸収すると、励起子（電子と正孔の対が静電的に束縛状態になっているもの）が発生し、拡散によってp層とn層の接合界面に達して電荷が分離します。正孔はp層、電子はn層を経て各電極へ輸送され、電流が流れます。これが、有機太陽電池の大まかな仕組みです。

現在、一般に普及している太陽電池は、シリコン系太陽電池ですが、有機薄膜太陽電池との大きな差異は、導電性材料と作製プロセスにあります。有機発電層に使われる導電性ポリマーやフラーレン（球状炭素分子）などの有機半導体は、シリコンなどの無機半導体とは異なり、化学合成が可能で、資源上の制約がほとんどありません。作製プロセスに関しては、高真空や高温装置などを必要とするシリコン系太陽電池に対し、有機薄膜太陽電池は溶媒を用いて塗布

や印刷によって作製でき、低コスト化や大量生産が可能です。作製過程での二酸化炭素排出量も少なく、環境負荷が小さいのも利点といえます。

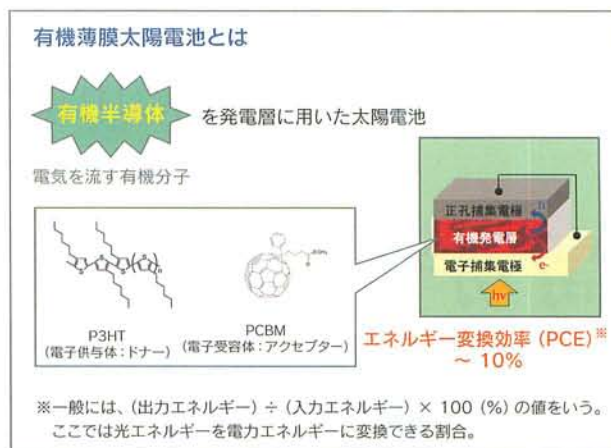
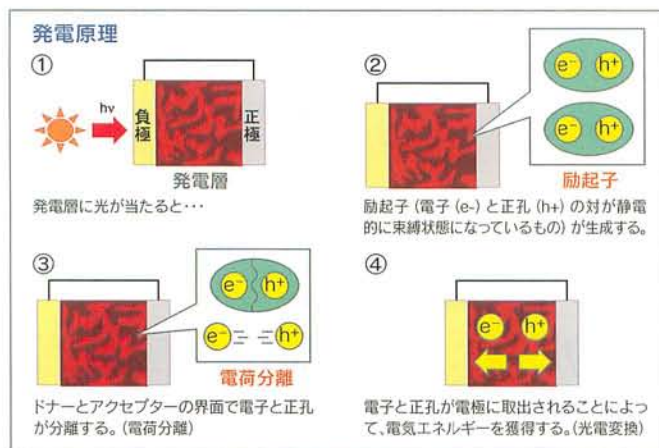
膜厚は数百nmと非常に薄く、プラスチックフィルムなど基板の選択により、軽量やフレキシブルなどの性質を付与できます。しかも、色彩や透明性を持たせることも可能で、建築物の外壁や自動車のボディなどさまざまな場所や物への設置もできます。

その一方、シリコン系太陽電池に比べて発電効率と耐久性の点で劣ることが、長年、大きな欠点とされてきました。

「最高水準の耐久性を持つ 有機薄膜太陽電池を開発」

有機薄膜太陽電池部門の研究グループは、物質化学系の高橋光信教授と桑原貴之助教が素子構造の設計

Division of Organic Solar Cells



を、高分子化学系の前田勝浩准教授と井改知幸助教が高分子材料の開発を担当しています。

研究グループが開発した逆型有機薄膜太陽電池は、従来型構造の素子をはるかに凌駕する耐久性を示します。従来型は電子捕集極に腐食しやすいアルミニウムを使っていますが、逆型では電子捕集極に酸化チタンや酸化亜鉛、正孔捕集極に金など、耐食性の高い材料を採用することで耐久性を確保。大気中において100℃以下という低温作製プロセスの開発にも成功しています。

この逆型の素子構造は、従来型が太陽光の入射側に正孔捕集極があるのに対し、光の入射側に電子捕集極があり、電子の流れが従来型とは反対になる構造です。

現在、その耐久性は、大気中で未封止状態でも保持され、真夏レベルの強い擬似太陽光を100時間連続照射した後でも、効率維持率95%以上という数値を得ています。今後は、光連続照射1000時間後の効率維持率80%以上をめざします。

一方、シリコン系太陽電池と比較した場合、一般的なシリコン系が20年間の性能保証を示しているのに対し、ガラス基板使用の逆型有機薄膜太陽電池の性能保証は5年間と予測され、耐久性の向上を引き続き追求していきます。

「最大課題は発電効率の向上」

研究グループが打破すべき最大の壁は、エネルギー変換効率の問題です。現状の効率は2.5%であるのに対し、従来型有機薄膜太陽電池は5~10%、シリコン系にいたっては一般型でも15~20%です。研究グルー

プは、平成25年度までに3.5%、27年度5%、29年度6%、そして32年度までに、エネルギー変換効率8%以上というマイルストーンを掲げています。

その変換効率向上の要となるのは、有機発電層を構成する光エネルギー変換材料です。高分子塗布系有機薄膜太陽電池では、主に、ドナー性分子であるp型有機半導体にはポリ3-ヘキシルチオフェン (P3HT)^{※1}、アクセプター性分子であるn型有機半導体にはフラーレン誘導体^{※2}が使われています。

また、ドナー性分子とアクセプター性分子の接合面積を増大するために、両分子を混ぜたバルクヘテロ接合型とよばれるブレンド膜となっています。

現状では、P3HTの太陽光吸収領域は波長650nmあたりまで、すなわち太陽光の20%程度しか吸収しておらず、長波長の太陽光を吸収できるπ共役系有機高分子の開発を進めています。フラーレン誘導体に関しても、電子移動度のより優れた新規分子を設計し、さらには、高耐久性を保持しながら、これら有機高分子材料がその性能を発揮できる最適な素子構造の作製法を探索します。

「実用化推進と次世代太陽電池開発へ」

研究は、「発電効率8%以上の達成」、「未封止素子の太陽光連続照射1000時間後の性能維持率80%以上の達成」、「大気中での製造技術の確立、および大面積化フィルム太陽電池作製の基盤技術の確立」を研究目標に掲げる一方、実用化を見据えた取り組みも進めています。

東北地方の新素材開発ベンチャー企業の(株)イデアルスターや、ガラス・土石製品製造会社の(株)倉元製作所などとの連携により、フィールド実証実験をすでに行っています。平成24年2月には、逆型有機薄膜太陽電池のサンプルを作製し、独立型充放電システムを介した夜間照明を、宮城県栗原市内のJRくりこま高原駅のバスターミナルの屋根に設置。(表紙の写真を参照して下さい。) 耐環境性評価実験を行い、性能データの取得と解析によって、一層の基本性能向上を図ります。

今後、フレキシブル性やデザイン性、軽量、製造設置の簡易性などのメリットを生かし、住宅や自動車の窓、カーポートの屋根などポータブルなものから導入を推進していきます。

塗布プロセスによる有機薄膜電池のエネルギー変換効率が8%を超えれば、そのライフサイクルアセスメントは、変換効率20%のシリコン系太陽電池の2倍と試算されます。さらに、変換効率が10%、かつ高耐久性が実現されれば、それは太陽電池のブレイクスルー。研究グループの挑戦は続きます。



※1 ポリチオフェン誘導体の一種である導電性高分子。ポリチオフェンは硫黄を含む複素環化合物の一種、チオフェンの重合体で、特定の処理により導電性を得る。

※2 フラーレンは20個以上の炭素原子がそれぞれ隣接する三原子と結合をしている閉じた擬球構造を持つ分子の総称。アクセプター性分子として主に用いられるのは、炭素60個から成るサッカーボール状の分子、C60。フラーレン誘導体は、フラーレンに有機化合物を結合した化合物。

Division of Renewable Energy

自然エネルギー活用部門

□専任 河野 孝昭 助 教

□兼任教員 本綿 隆弘 教 授 □協力教員 木村 繁男 教 授
榎本 啓士 准教授 山本 茂 教 授
金子 修 准教授 上野 敏幸 准教授

高効率・低騒音風力発電と バイオ燃料対応型燃焼技術の開発



日本における電源構成の推移予測では、2035年、全体の8割を石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料が占め、残り2割のうち8割を再生可能エネルギーで賄うとされています。第2部門・自然エネルギー活用部門は、風力エネルギーを利用する高効率・低騒音の風力発電システム、様々なバイオ燃料に対応しうる高性能な燃焼システムの開発を行い、小規模分散型風力発電システムと、その発電出力変動を補完する燃焼システムの構築をめざしています。

「可変ピッチ式直線翼垂直型風車の開発」

風力発電の風車は、回転軸方向により水平軸型と垂直軸型に大別され、作動原理別では、翼の揚力で高速回転する揚力型と風の押す力で低速回

転する抗力型があります。

現在の主流は水平軸のプロペラ風車です。高効率、大型化が容易という利点がある反面、風向に追従する機構が必要、発電機をタワー上部に設置するためメンテナンスなどが不便などの欠点があります。一方、垂直軸型は、全方向の風の利用が可能、発電機を地上に設置でき自由度が高いという利点を有します。しかしながら、低周速比^{※1}域では自己起動性が乏しく、起動しても低周速比域ではトルクが小さく、十分な出力が得られないという欠点があり、従来、実用化の障壁となっていました。

本部門本綿研究グループは、垂直型風車の発電性能の改善をめざし、4節リンク機構による可変ピッチ式直線翼垂直型風車に取り組んでいます。図1のように本風車は、動力源を要さずにリンク機構と回転力により、ピッチ

角(翼の取り付け角度)を流入風向に合わせて揺動させ、固定ピッチ式垂直軸風車よりも多くの風力を回収します。風向に対する偏心リンクの角度(θ_p)に応じて風車回転数は最大値~極小値に変動し、本風車が風向に対する指向性を有する特徴があります。一方、全周速比域で性能を向上させるためには回転数に応じてピッチ角の変動量を変える必要があり、アクティブに翼の揺れ角を制御できる円筒カムを組み合わせた機構を開発し、本風車に搭載しました。また、強風時の安全性^{※2}を確保するため、本風車の風向に対する指向性を活かし、パッシブ制御による2枚尾翼システムも備えています。

「様々な自然エネルギーを活用」

本研究グループは、錨付きディフューザー付きプロペラ風車やクロ

Division of Renewable Energy

スフロー風車^{※3}などの出力向上の研究も行っています。鰐付きディフューザーはプロペラを囲む集風シュラウドです。風の下流端に向かって広がった円筒状のディフューザーとその周りの鰐から成り、鰐によって発生する渦で下流端の風をディフューザーに集める仕組みです。集風装置のないものに比べ、40%風速を増速します。また、クロスフロー風車は、道路の防風・防雪フェンス上部に設置され、誘導灯の電源などに利用されています。

さらに初年度、流雪溝による流し掛け水車、地下水などの地中熱を利用した暖冷房・融雪装置の設計なども行いました。

「バイオエタノールの高効率燃焼システムを研究」

分散型風力発電の補完システムとして、本部門榎本研究グループは多様燃料対応型の燃焼システムを開発しています。現在、ガソリンの代替燃料の一つとしてバイオエタノールが注目されており、本研究は、第3部門の高橋憲司准教授・仁宮一章助教によるバイオエタノール研究と連動します。

液体燃料の効率的燃焼には、燃料の気化が必要です。バイオエタノールの場合、ガソリンに比べて発熱量が小さく、気化潜熱が大きいいため、内燃機関燃料として有効利用するには熱量利用の高効率化が重要となります。その方法の一つに燃料噴射装置による噴霧の微粒化があり、本研究グループは、噴射装置にマイクロ波加熱技術を応用します。

マイクロ波加熱は、一般的な外部加熱方式とは異なり、被加熱物(誘電体)が発熱体となる内部加熱方式で

す。誘電体をマイクロ波の電界に置くと誘電体内部で配向分極^{※4}が起こり、高速(マイクロ波の周波数)で変わる電界の向きに応じて双極子は反転します。この時、双極子同士が摩擦を起こして電界の変化に遅れるようになり、誘導体内部で摩擦エネルギーが散逸して熱に変わる、というのが基本原理です。また、マイクロ波加熱は、光速度で伝播する高速応答性により、被加熱物の形状を問わず短時間でほぼ均一に加熱ができ、温度制御の応答性も高い、内部加熱のため熱効率が高い、マイクロ波を吸収しやすいものだけを選択加熱できる、などの利点を有します。

「局所接触型マイクロ波加熱技術を開発」

本研究グループが開発したマイクロ波加熱式噴射装置を図2に示します。

マイクロ波の輸送に用いる同軸ケーブルは、電磁波の外部漏れが少ない、ある程度のフレキシブル性がある、幅広い周波数範囲の伝送が可能、などの利点があります。本装置は、同軸ケーブルを燃料噴射装置のノズル内の流路に差し込むことで、マイクロ波を燃料に直接照射します。これはマイクロ加熱の効率を高める新規な技術であり、研究グループは「局所接触型」と定義しています。この方法は燃料への熱量供給だけでなく、燃料は噴射直前に加熱気化し、ノズル内の圧力上昇によって噴射されるという噴出現象を伴います。こうした機構により液体噴射装置などは不要になり、装置の簡素化が図れます。また、同期ケーブルのフレキシブル性により、加熱装置レイアウトの自由度も高

くなります。

研究グループはこれまでに、燃料の最適微粒化技術の確立に向け、噴霧の微粒化特性を示す噴霧粒径を独自の簡易画像処理による実験で検証しています。その結果、マイクロ波加熱により燃料液滴の微粒化が促進されること、また、燃料温度の上昇に伴って噴霧の微粒化が助長されることなどを確認しました。

さらに、不純物を多く含む様々なバイオエタノールに対応する燃料状態計測システムの開発にも取り組んでいます。初年度は、噴霧燃焼法の構造解析のために、噴霧を構成する最小単位の観察実験を行い、一般の噴霧を構成する30 μm の液滴観察に成功しました。

以上、本部門は、地産地消型の自然エネルギーによる小規模分散型発電システムと、その変動を補完する燃焼システムを確立し、環境負荷の低い社会インフラが整備されたスマートシティ構築に貢献していきます。

※1 風速と翼先端速度との比。

※2 風力発電では、出力が発電機の定格出力に達する風速以上では風車の回転を制御する必要があり、台風などの強風時には装置の破損を防止するため、ピッチ角を風向に平行にしたり、回転を停止させたりする。

※3 円盤型の側板2枚の間に、円弧状の翼を何枚も挟んだ垂直軸・抗力型風車。起動性は良いが出力が小さい。

※4 誘電体を構成する分子が極性分子(正・負電荷の重心がずれている、水分子など)の場合、電界が作用していない状態では分子は任意の方向を向いているが、電界が作用すると分子が電界の方向に配向するため電気双極子が生じる。

図1 四節リンク機構を用いた変ピッチ式直線翼垂直型風車

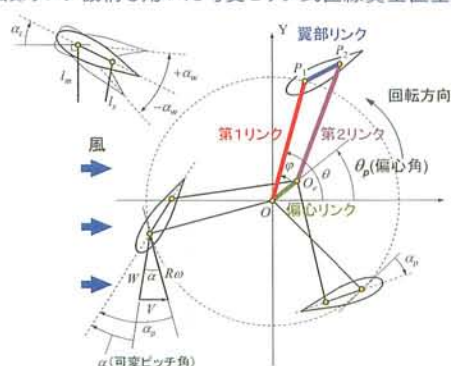
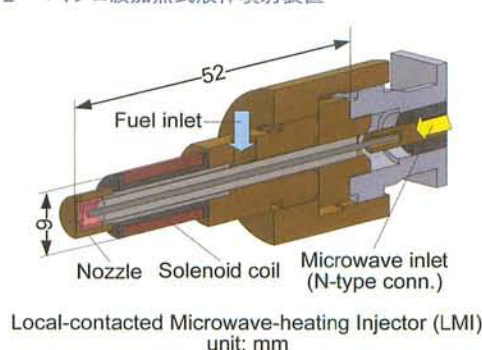


図2 マイクロ波加熱式液体噴射装置



Division of Carbon Circulation Technology

炭素循環技術部門

□専任 三木 理 教授

□兼任教員 瀧本 昭 教授 □協力教員 島居 和之 教授
児玉 昭雄 教授 多田 幸生 准教授
長谷川 浩 教授 汲田 幹夫 准教授
大坂 佑吾 助教炭素循環型社会に向けた
環境エネルギー技術の開発

東日本大震災後、再生可能エネルギーへの求心力が高まるも、その完全移行には50年から100年を要すると予測されます。現在、石炭は、世界の発電燃料の約40%を占め、国際エネルギー機関は、2050年には、石炭火力と原子力発電が世界の発電エネルギー源の柱となると分析。日本でも、石炭はCO₂排出が問題であるとはいえ、価格と供給安定性の点から優れたエネルギー源として認められています。石炭火力発電において世界最高効率の技術力を保有するわが国が必要とするのは低炭素化技術です。

炭素循環技術部門では、CO₂大量排出源の火力発電と鉄鋼製造をターゲットに、CO₂、排熱、石炭灰などの再資源化をめざし、①高効率なCO₂分離回収、②海洋バイオマスによるCO₂海洋貯留、③藻類育成の高効率化と海域環境修復、④排熱回収有効

利用の研究に取り組みます。

「高効率なCO₂分離回収プロセスの開発」

現在、CO₂回収技術の主流は、CO₂を吸収する溶液を用いた化学吸収法であり、これはエネルギー消費やコスト、装置が大きい点が問題とされています。一方、ゼオライトや活性炭など吸着剤を利用する物理吸着法においては、圧力変化によってCO₂を回収分離する圧力スイング吸着法は、電力の大量消費が欠点です。吸着剤ハニカムロータ^{*1}を用いる温度スイング吸着法は、排熱利用と低圧力損失という利点がある一方で、吸着容量の大きいゼオライト系吸着剤は、水蒸気によって吸着量が激減するという弱点があります。

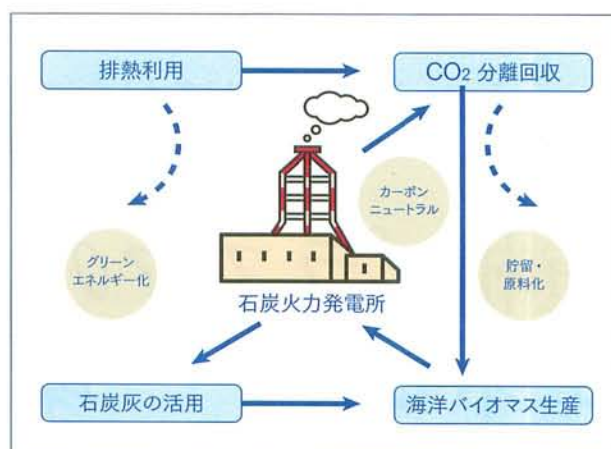
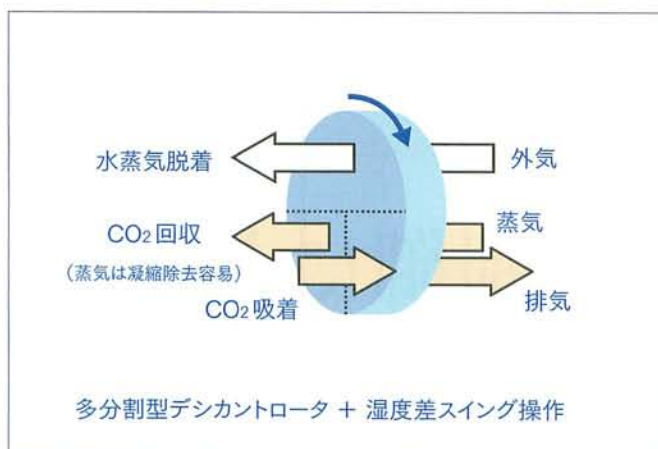
本部門の児玉研究グループは、

新規吸着剤としてデシカント除湿空調^{*2}に開発したAIPO系ゼオライトを採用。従来のゼオライトと同様、その吸着性能は水蒸気の影響を受けますが、従来ゼオライトに比べ、相対湿度差による水蒸気の吸脱着ははるかに容易です。この特性に基づいた湿度差スイングによるデシカント除湿技術を応用、並びに、吸着剤ハニカムロータを多分割し、CO₂吸着→水蒸気によるCO₂分離回収→湿度差スイングによる水蒸気脱着（吸着剤再生）を単一ロータで完結するプロセスを開発します。湿度差は発電・燃焼排熱によって得られ、消費エネルギーのきわめて小さいCO₂分離回収プロセスです。

「CO₂海洋貯留となる藻類バイオリアクタの開発」

CO₂の貯留法としては、高圧の

Division of Carbon Circulation Technology



CO₂を地下の帯水層に注入する地中貯留法が現在主流となっています。この方法では、CO₂の長期安定的な隔離や地下水の酸性化が懸念されます。

本部門瀧本研究グループは、日本の長い海岸線に沿う広大な海域に着目し、藻類の光合成を利用したCO₂活用・固定化を提案、藻類バイオリアクタを開発しています。藻類は一般の植物に比べ、生長速度が速い、CO₂固定能力が高い、他の穀物などのバイオマスとは異なり、食糧と競合しない、などの利点を有します。

藻類バイオリアクタには、低コストかつ高効率のマイクロCO₂バブルとLED光源を利用、藻類育成の最適条件を検証しています。これまでに、混合波長がブルー単色光に比べて40%光合成を促進する、長日条件が生長を促進する、CO₂バブル供給が自然状態に比べて30%生長を促進する、というデータが得られています。

「藻類育成の高効率化と海域環境修復への取り組み」

海洋バイオマスの効率的生産には、CO₂や光環境だけでなく、栄養塩環境の最適化も不可欠です。海洋植物プランクトンの栄養塩は、リン、窒素、珪素、微量金属です。

長谷川研究グループは、藻類の室内培養実験を行い、有用藻類の増殖やオイル生産に適した微量生元素の化学形や濃度の条件を探索します。これまでに、鉄と錯体を形成する腐食物質^{※3}（フルボ酸）が藻類の鉄取り込みを促し、生長を促進することを確認しており、この腐食物質錯体を用いて、藻類に対する生物学的有効性の高い鉄化学種の条件を検証しま

す。

また、三木研究グループは、リサイクル材と排水・排ガスを活用する高効率藻類育成プロセスに取り組めます。リサイクル材は、石炭火力発電で発生する石炭灰、鉄鋼生産過程で生成される鉄鋼スラグ、地場の廃木材チップなどで、これらは、珪素、鉄の供給源となります。さらに、排水内の窒素、リン、排熱、排ガス内のCO₂を併用し、大型藻類の育成を助長して海域環境修復に寄与する藻場造成技術、並びに微細藻類育成技術の開発に取り組めます。まずは室内培養実験で、リサイクル材の藻類増殖に対する効果や安全性、さらに、育成プロセスの構築を検討します。

「産業・発電排熱の有効活用技術の開発」

発電・産業施設で発生する膨大な排熱のうち、100℃以下の排熱は未利用のままであり、低温排熱を都市空間で有効活用するには、蓄熱・熱輸送、熱利用機器の拡充が必要です。児玉研究グループは、一例として、低温排熱をデシカントロータに蓄熱、オフライン輸送を行い、利用端ではデシカント除湿空調または吸着式ヒートポンプによって、暖房、給湯、除湿、冷房・冷凍機能を供給するシステムを検討します。

システムの実現には、デシカント空調技術の高性能化と機能拡大が必須であり、初年度、吸着した水蒸気を長時間、安定的に放出する吸着材を見出し、その出力挙動を確認しました。

また、吸着式ヒートポンプは、デシカント空調技術と同様の原理を応用する冷凍機です。吸着過程では、

冷媒が吸着剤に吸着されて蒸発し、その蒸発潜熱（気化熱）に相当する冷熱が発生、冷水が得られます。脱着過程では、吸着した水分を排熱で脱着し、吸着剤が再生されるという仕組みです。現状では、吸着式ヒートポンプの装置が大きく、民間普及の妨げになっています。研究グループは、その小型高性能化を図るべく、水分吸着量の増大と吸着熱交換器内の伝熱促進を可能にする新規吸着材の開発に取り組めます。

以上の炭素循環システム研究の推進にあたり、低炭素技術をキーワードに、工学・化学の異分野融合と産学連携による研究ネットワークの構築も図っていきます。



※1 無機繊維のペーパーをハニカム状（蜂の巣状）に成形した構造物に、ゼオライトなどの吸着剤を担持した装置。用途は除湿やガス処理など。

※2 吸湿域と再生域で構成。吸湿域ではロータで水分を吸着、再生域では温風によりロータから水分を脱着。

※3 植物残渣や微生物遺骸が土壌中で微生物によって分解され、その分解産物から合成された高分子有機酸の混合物。

Division of Energy and Environmental Materials

エネルギー・環境材料部門

□専任 石島 達夫 准教授 □協力教員 森本 章治 教授
 大谷 吉生 教授
 猪熊 孝夫 教授
 瀬戸 章文 准教授
 川江 健 准教授
 徳田 規夫 准教授

□兼任教員 上杉 喜彦 教授
 田中 康規 教授

重相プラズマの新規制御による エネルギー・環境分野技術の開発



プラズマは物質の第四態とよばれ、身近なものでは蛍光灯やプラズマテレビ、自然界では太陽やオーロラなどがあり、プラズマは太陽系の質量の99%を占めています。現代社会では、溶接やエッチング、薄膜やクラスターの製造など、工業、エネルギー、医療まで広い分野で利用されています。エネルギー・環境材料部門では、重相構造プラズマの構造の解明並びに応用技術の創出を行います。重層構造プラズマとは、固体・液体・気体・プラズマの四相が混在する物質構造であり、材料プロセスなどで非常に薄い空間に現れます。この構造を高度に制御する技術がキーテクノロジーとなります。

「プラズマとは」

物質にエネルギーを与えると、固

体、液体、気体と変化し、さらにエネルギーを加えると、分子は解離して原子になり、原子はイオンと電子に分かれます。この現象を電離といい、電離によって生じた荷電粒子を含む気体の状態がプラズマです。その種類は多く、温度と粒子密度によって性質が全く異なります。プラズマプロセスで使われるのは主に熱プラズマと低温プラズマです。熱プラズマは電離度が高く、電子と原子・分子・イオンの温度がすべて高くほぼ平衡状態にあります。低温プラズマは電離度が低く、大部分が中性粒子で構成され、イオンの温度は低く、電子の温度は非常に高い非平衡プラズマです。

「変調熱プラズマによる ナノ粒子の高効率生成」

近年、ナノ粒子の応用領域の拡大に伴い、粒子の品質向上や高効率・

低コストな製造法が重要になっています。ナノ粒子を作製するプラズマプロセスの一つに、熱プラズマを用いる方法があります。プラズマの高温・大熱容量によって原料を完全蒸発させ、急冷却してナノ粒子を得るという方法です。

本部門では、超高密度変調型熱プラズマによるナノ粒子の高速・大量生成技術を開発します。本研究で用いる高周波誘導熱プラズマ^{※1}は、無電極で熱プラズマ空間を作り出すため、アーク放電によるプラズマのように電極物質が不純物となるリスクを回避でき、クリーンなプラズマ媒体を形成します。媒体種（不活性雰囲気・酸化雰囲気・還元雰囲気）の依存性もなく、原料生成プロセスにおいて非常に有利です。

超高密度変調型熱プラズマは、本学が開発した独自技術です。コイル

Division of Energy and Environmental Materials

電流の振幅を変調させて熱プラズマの高温状態と低温状態を高速で繰り返すことにより、冷却のための原料供給の減速や冷却ガス投入を要することなく、ナノ粒子の粒径の制御や微細で粒度分布幅の狭い粒子を生成します。この技術により、生成速度は従来の約1.7倍、生成効率は約2倍というナノ粒子の高効率・大量・低コスト生産を可能にします。

「ポリマー溶発を用いた大電流直流アーク遮断技術」

再生可能エネルギーの効率活用やスマートグリッドに向け、直流送電の研究が活発に行われています。信頼性の高い直流送電システムには、直流大電流の遮断技術が不可欠です。電力用遮断器は、異常電流から電力系統を保護するための電力回路のスイッチ素子です。事故時、大電流が発生すると、スイッチ素子を開放しても、素子の電極間に生じるアーク放電を介して電流が流れ続けます。遮断器は、このプラズマを消す機能を備えています。

本部門では、ポリマーアブレーションによる大電流直流アーク遮断技術に取り組んでいます。ポリマー材料をプラズマに接触させて高速溶発を誘発し、プラズマを消滅させる技術です。その現象を解明すべく、ポリマーアブレーションがプラズマに与える影響を基礎実験と数値解析手法から検討し、ナイロン66、ポリアセタール樹脂、テフロンと比較において、ポリアセタールを使用した場合に最もアーク電圧が高くなるという知見を得ました。また、現在、電力遮断に主に用いられている六フッ化硫黄は二酸化炭素の23900倍もの温室効果を

有するガスであり、環境問題の観点からもポリマーアブレーションは有望です。

「内燃機関の燃焼を促進するプラズマ支援燃焼技術」

非平衡プラズマは、放電で生成される活性種を利用して、環境汚染物質除去、オゾン生成、表面加工、燃焼支援、バイオ技術など多分野で応用されています。内燃機関分野では燃費の向上や高効率燃焼技術が希求されており、本部門は、燃焼場にプラズマを重畳させて燃焼反応を促進・制御するプラズマ支援燃焼を提案します。

非平衡プラズマは、高エネルギーの電子が分子に衝突して分子の解離反応を誘発し、燃焼場(3000K以下)では解離しにくい分子の解離も容易です。本研究は、燃料ガスにバリア放電を印加して燃焼活性種(CH、C₂、OH)を増加させ、着火を促進させる技術に取り組んでいます。実験では、放電印加により燃焼速度が約1.4倍向上することを確認しました。

「新規プラズマ源としての液中プラズマ開発」

非平衡プラズマで生成される活性種は、前述のように非常に有用である反面、短寿命がネックとなっています。例えば、強い酸化力を有することから水処理技術に利用されるOHラジカルは、大気中の寿命が1ms以下であり、ラジカル生成と水処理をほぼ同時に行う必要があります。こうした活性種の有効利用という観点から、液体中でプラズマを発生させるプロセス、液中プラズマへの注目が高まっています。

本部門では、液中気泡内にプラズマを発生させるマイクロ波励起液中プラズマ源の開発を行います。マイクロ波で液体を加熱して気泡を発生させ、さらにマイクロ波の電界によってプラズマを生成させる技術です。多くの従来型の液中プラズマは、液体中に設置した電極に直流や交流の高電圧を印加して放電を発生させますが、電極物質が高電圧によって損傷して液中に混入します。電極ダメージ抑制のためには、液体の導電率を高くし、電流加熱によって気泡を生成させ、絶縁破壊電圧を下げることで放電を容易にさせる工夫が要ります。マイクロ波を使うプロセスでは、マイクロ波で極性分子^{※2}を加熱して気泡を生成するため、液体の導電性に依存しません。また、従来の手法に比べ、プラズマ発生部のダメージも抑制できます。

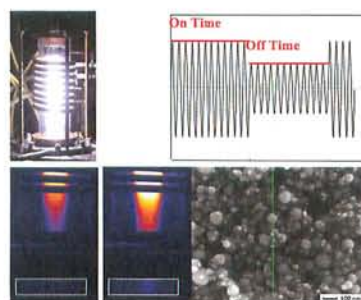
本部門では以上の研究のほか、レーザーアブレーションによる薄膜の作製^{※3}、ダイヤモンドを用いたグラフェン^{※4}の新規プロセス、機能性ナノ粒子の合成とナノ粒子計測技術などの研究にも取り組んでいます。

※1 熱プラズマを生成する主な方法には、電極間のアーク放電を用いる方法、高周波電磁場を利用して誘導的に気体を加熱する方法(高周波誘導熱プラズマ)、マイクロ波で気体を加熱する方法などがある。

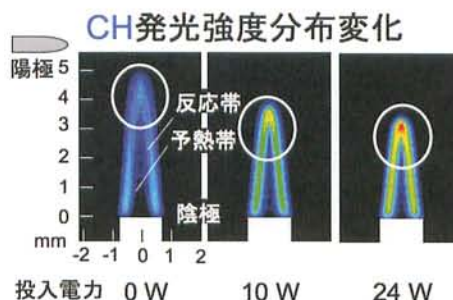
※2 水分子のように、正・負電荷の重心がずれている分子。

※3 パルスレーザーを材料に照射し、そのエネルギーで射出した材料粒子を基板上に堆積するプロセス。

※4 六角形の格子状に結合した炭素原子のみで構成され、厚みが原子1個分の材料。電子の移動度が非常に高い。



パルス変調誘導熱プラズマによる機能性ナノ粒子の高速生成



プラズマ支援による燃焼促進



水中におけるマイクロ波励起プラズマの発光

Division of Unutilized Biomass Energy

バイオマス利用部門

□専任 本多 了 助教

□兼任教員 関 平和 教授

池本 良子 教授

古内 正美 教授

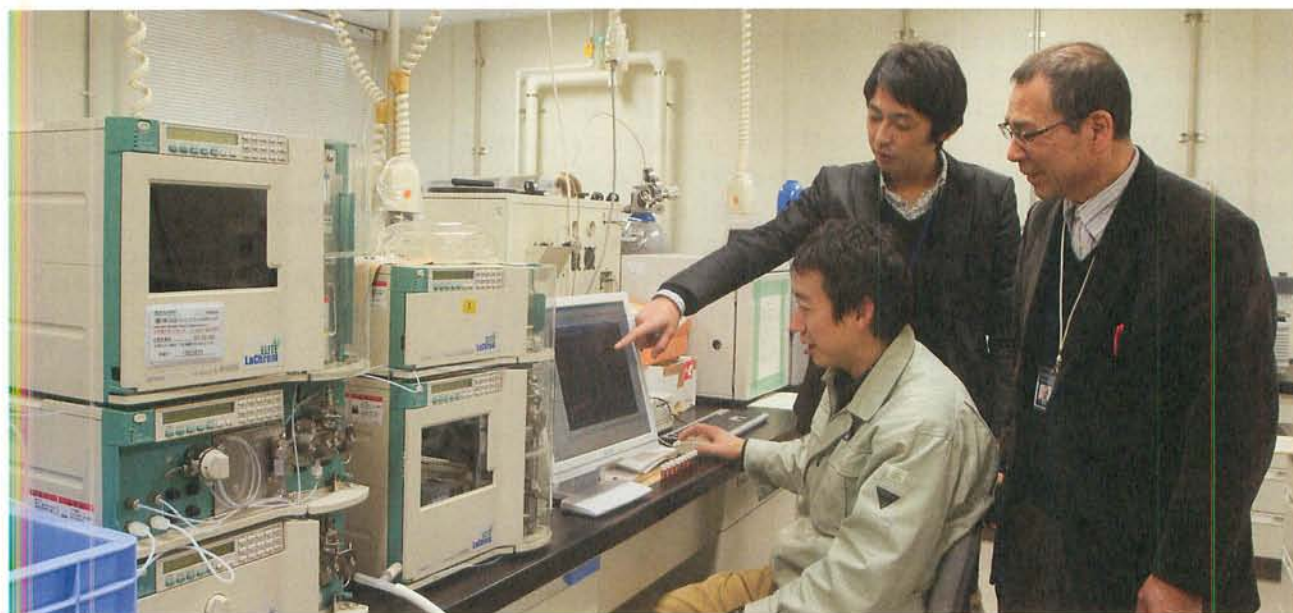
□協力教員 高橋 憲司 准教授

小林 史尚 准教授

畑 光彦 助教

仁宮 一章 助教

未利用バイオマスの活用技術と クリーンエネルギーの創出



能登地方の里山里海や近隣都市は、間伐材、竹、稲藁、海藻、汚泥など未利用バイオマスの宝庫です。バイオマス利用部門では、未利用バイオマスの利用技術の開発、並びに、冷暖房や融雪、化石燃料の代替燃料、農業ハウス冷暖房や肥料、養殖加温など利用対象に応じた技術を選択、組み合わせ、環境負荷低減を考慮したシステムの最適化を研究課題にしています。

「下水処理場集約型 バイオマス利用技術の開発」

本課題では、メタン発酵や炭化^{※1}を組み合わせたバイオマス利用システムを提案します。そのフローは、草木バイオマスからメタンガスを生成する、バイオマスを炭化により肥料や燃料にする、メタン発酵由来の残渣

は炭化し、活性汚泥処理する、下水処理で残った汚泥をメタン発酵に回す、というものです。この過程での課題は、草木バイオマスのメタン発酵に必要な前処理法と高濃度メタン発酵技術の開発、炭化物の混合条件の検討です。

初年度、前処理法に関し、膨張軟化処理^{※2}がメタン回収率において、粉碎、熱処理、酵素処理に比べ明らかな優位性を示すこと、硫酸塩還元微生物^{※3}により草木バイオマスからメタンガス前駆物質の酢酸を生成する方法を見出しました。また、メタン発酵効率に関し、下水汚泥と草木バイオマスの最適混合比率は蒸発残留物で1:0.5との知見を得ました。

さらに、下水二次処理水中の栄養塩を利用して微細藻類を高速培養し、二酸化炭素の固定・資源化するプロセスも開発中です。生産された藻類

バイオマスはメタン発酵や水熱ガス化によるメタンガス生産への利用が可能です。その工程は、下水処理水を海水との濃度差による浸透圧で濃縮、同時に海水側が得た水圧を発電に利用。濃縮下水処理水は、浸漬膜^{※4}付加型フォトバイオリアクターに送られ、そこで培養される藻類の働きによって光エネルギーを利用して二酸化炭素を固定し、富栄養化の原因となる下水処理水中の栄養塩も同時に除去する、というものです。

「発酵熱の原位置直接利用技術」

里山林の管理における伐採竹材は膨大なバイオマスです。竹チップを蓄積すると、発酵による高温状態が1～2年続きます。竹発酵は無臭という利点もあります。

本課題では、竹チップ層の発酵熱回収装置の開発に取り組んでいます。

Division of Unutilized Biomass Energy

装置は発酵槽、蓄熱槽、利用施設で構成し、流水管を介して発酵槽から回収した熱で蓄熱槽を加温、利用施設へ温水を送るという仕組みです。このプロセスに関し、熱源の安定性を確保するために発熱特性の把握と発熱促進法の検討、効率的な熱回収・蓄熱を可能にする配管位置や流量、槽容量の最適化のため、それらの伝熱理論と動特性の把握を行います。蓄熱の用途は、養殖水槽の加温、土壌加温、温室保温、穀物低温乾燥などが考えられ、それら施設の熱負荷の把握と伝熱制御システムに取り組めます。

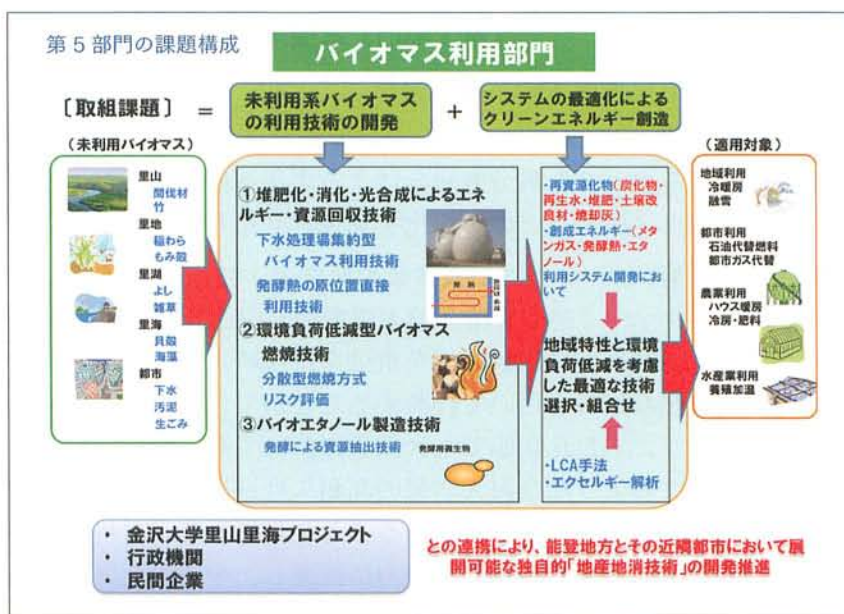
初年度、竹チップ層の熱特性に関し、熱伝導率と総発熱量の基礎測定、日射量や外気温の変動に伴う層内の温度変化の伝達関数を検討しました。熱回収については、管内水と竹チップ層との総括伝熱係数や管外面の境膜伝熱係数を算出。蓄熱方法に関しては、熱回収・蓄熱の現地実験結果を説明する非定常計算、所定の温度に達するまでの所要時間、定常計算のFortranプログラムを完成しました。

「環境負荷低減を勘案したバイオマス燃焼技術」

日本は森林資源が豊富であり、未利用の木質バイオマスは家庭用暖房やボイラーの燃料として期待されます。一方、燃焼により発生する排ガス中の多量の微小粒子には、多環芳香族炭化水素^{※5} (PAHS) などの有害物質が含まれています。

本課題は、バイオマス直接燃焼による環境リスクの解明、分散型燃焼による地域環境への影響、燃焼方法の最適化と長寿命フィルタの開発による低コスト排ガス対策技術について研究しています。

初年度、ペレットストーブで木質バイオマスの燃焼実験を行い、450～550℃の温度域で微小粒子が大量発生すること、また、バイオマスと石炭の混合燃焼実験により、単位燃料当たりのバイオマス混合比にほぼ比例して粒子とPAHSが増加することを確認しました。分散型燃焼の環境負荷評価については、バイオマス利用の普及しているタイの調査地区をモデルに、天然ゴム古木消費量と大気中粒子濃度の相関を検討。また、環境負



荷低減策としてピンホールフィルタによる微小粒子除去性能を検証し、孔周辺での粒子捕集メカニズムが重要であるとの知見を得ました。

「バイオエタノール製造技術」

現在実用化されている第1世代バイオ燃料が主に穀物を原料とするのに対し、第2世代バイオ燃料(以下セルロース^{※6}系バイオエタノール)は、木材や稲藁など非食料資源を利用します。化石燃料の代替となることで二酸化炭素削減に貢献し、食糧との競合を回避できることが大きな利点です。

バイオ燃料は、原料を糖化し、その糖を発酵させてエタノールを得るという工程で生成されます。セルロース系の場合、細胞壁を構成するセルロースが強固な結晶構造を成し、セルロースやリグニンが絡まった複雑な構造を有し、これが糖化反応を妨げます。そこで、糖化前処理として、これまで硫酸やアルカリを用いて高温処理する方法が研究されてきましたが、この方法は今以上の技術的、経済的な向上が見込めないと評されています。

本課題では、前処理法には全く新規な技術が必要と考え、イオン液体^{※7}で木材を溶解、超音波を照射し、セルロースの非結晶化やリグニンの分離を行うプロセスを開発しています。

初年度、竹からの有用物質変換技術の開発に向けて水蒸気爆砕前処理を実験、蒸煮時間による、酸可溶性

リグニン、酸不溶性リグニン、酸可溶性セルロース、水可溶性ヘミセルロースの成分量、比率の変化を確認しました。また、海藻からの有用物質変換技術に関しては、アルギン酸抽出後の海藻残渣をイオン液体で前処理し、未処理の場合と比較。糖化効率やエタノール収率の向上は僅かであり、海藻バイオマスは、木質系バイオマスと比較して、前処理の必要性が小さいことを確認しました。

本部門は以上の研究を、金沢大学里山里海プロジェクト、行政機関、民間企業と連携し、能登地方と近隣都市に適用展開する「地産地消」技術として開発を進めます。

※1 有機物を無酸素・低酸素状態で加熱分解し、炭素を主成分とする残渣を生成する技術。

※2 反応器内でバイオマスに水分を微量添加して圧縮加圧後、大気圧に一気に開放することで膨張破砕する処理法。

※3 有機物を分解し、生じた電子を用いて硫酸塩を還元する微生物。嫌気的環境に広く分布。

※4 水槽に遮断用膜モジュールを露出して配し、下部から曝気を行う。主に廃水処理などで使われる。

※5 多環芳香族炭化水素はベンゼン環を2つ以上持つ芳香族炭化水素の総称。中には発癌性や催奇形性などを有するものもある。

※6 植物細胞壁や繊維の主成分で、分子式 $(C^6H^{10}O^5)_n$ で表される多糖類。

※7 室温で液体状態の塩。塩とはイオンのみで構成される化合物(食塩など)のことで、数百度以上で加熱しないと液体にならない。